МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы
«Изучение методов анализа линейной дискретной системы»
по дисциплине «Цифровая обработка сигналов»
для студентов всех форм обучения
специальностей «Промышленная электроника» и
«Биомедицинская электроника»

Харьков
НТУ «ХПИ»
2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы
«Изучение методов анализа линейной дискретной системы»
по дисциплине «Цифровая обработка сигналов»
для студентов всех форм обучения
специальностей «Промышленная электроника» и
«Биомедицинская электроника»

Утверждено
редакционно-издательского
совета университета,
протокол № 1 от 22.06.2017 г.

Харьков
НТУ «ХПИ»
2017

Методические указания к выполнению лабораторной работы «Изучение методов анализа линейной дискретной системы» по дисциплине «Цифровая обработка сигналов» для студентов всех форм обучения специальностей «Промышленная электроника» и «Биомедицинская электроника» /состав. Фетюхина Л. В., Бутова О. А. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2017. – 20 с.

Составители: Л. В. Фетюхина,
О. А. Бутова

Рецензент В. В. Замаруев

Кафедра промышленной и биомедицинской электроники

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНОЙ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ

Цель – ознакомление с основными характеристиками линейных дискретных систем, изучение реакций системы на воздействия во временной и частотной областях.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Системой обработки сигналов называют объект, который выполняет преобразование входного сигнала в выходной по заданному закону. Модель вход-выход – это описание связи входных и выходных сигналов системы.

Дискретная система, как и аналоговая, полностью определяется математическим оператором F, устанавливающим связь между ее выходным $y(n)$ и входным $x(n)$ сигналами: $y(n) = F[x(n)]$.

Система называется *дискретной*, если входное воздействие и выходная реакция представляют собой дискретные сигналы $x(nT)$ и $y(nT)$.

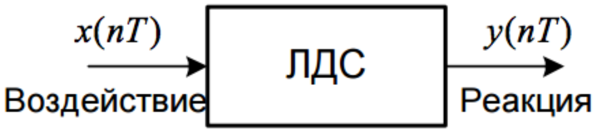

Рисунок 1– Линейная дискретная система (ЛДС)

В зависимости от используемого математического оператора системы разделяются на линейные и нелинейные, а также стационарные и нестационарные.

Системы называют *линейной*, если она обладает свойствами:

– *аддитивности*: реакция на сумму воздействий равна сумме реакций на каждое из воздействий (принцип суперпозиции);

– *однородности*: умножению воздействия на весовой коэффициент соответствует реакция, умноженная на тот же коэффициент.

Систему называют *стационарной*, если она обладает свойством инвариантности во времени, в соответствии с которым задержка воздействия на некоторое время приводит к задержке реакции на то же время. Параметры стационарной системы неизменны во времени.

Линейные системы ЛДС во временной области описываются разностными уравнениями или дискретной сверткой, которые являются аналогами дифференциальных уравнений, записанных в явном виде и интеграла Дюамеля, применяемого для расчёта реакции систем на произвольно меняющиеся во времени аналоговые сигналы.

В частотной области используются математические операторы, аргументом которых является частота соответствующего сигнала. Аналоговые сигналы на комплексной плоскости описываются преобразованием Лапласа, которое является функцией комплексного оператора (комплексной частоты) $p(j) = \sigma + \omega$, и преобразованием Фурье, которое соответствует преобразованию Лапласа, вычисленному вдоль мнимой оси $j\omega$ (оси частот).

Дискретная система называется *физически реализуемой*, если для нее выполняются следующие условия: реакция на воздействие не может возникнуть раньше воздействия, то есть значения реакции $y(nT)$ в каждый момент времени n зависят от текущего $x(nT)$ и предшествующих значений воздействия $x((n - m)\ T)$, $m > 0$, но не зависят от его последующих значений $x\ (n + m)T)$, $m \geq 1$.

Линейные дискретные системы описываются своими характеристиками во временной области и в частотной области.

Во *временной области* характеристиками ЛДС является импульсная характеристика $h(nT)$ и переходная характеристики $g(nT)$.

Импульсной характеристикой $h(nT)$ системы называется ее реакция на дискретный единичный импульс $\delta(nT)$ при нулевых начальных условиях.

Переходной характеристикой $g(nT)$ системы называется ее реакция на дискретный единичный скачок $1(nT)$ при нулевых начальных условиях.

Формула дискретной свертки имеет вид:

$$y(n) = \sum_{m=0}^{\infty} h(n - m) \cdot x(n), \quad (1)$$

где $h(n-m)$ – импульсная характеристика, задержанная на m периодов дискретизации. Нижний предел суммирования в (1) (m = 0) соответствует условию физической реализуемости системы: $h(n-m)$ = 0 при n < 0…

По импульсной характеристике можно судить об устойчивости. Устойчивой системе отвечает затухающая со временем импульсная характеристика, что математически выражается как:

$$\sum_{n=0}^{\infty} \lceil h(n) \rceil < \infty. \tag{2}$$

Связь между входом и выходом можно описать разностным уравнением. Дискретная передаточная функция описывает в сжатой форме такое конечно-разностное уравнение:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} b_k \cdot x(n-k) - \sum_{k=0}^{N-1} a_k \cdot y(n-k), \tag{3}$$

где b_k и a_k называются внутренними параметрами системы.

Линейная дискретная система называется *рекурсивной*, если хотя бы один из коэффициентов a_k разностного уравнения (3) не равен нулю.

Порядком рекурсивной дискретной системы называют порядок разностного уравнения (2), то есть max{(N-1, M-1) }.

Линейная дискретная система называется нерекурсивной, если все коэффициенты a_k разностного уравнения (3) равны нулю. Таким образом, уравнение для нерекурсивной системы имеет вид:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} b_k \cdot x(n-k). \tag{4}$$

Основной характеристикой дискретной системы в z-области является z-изображение импульсной характеристики $h(n)$.

$$H(z) = Z\{h(n)\} = \sum_{k=0}^{N-1} h(n) \cdot z^{-1}. \tag{5}$$

Формуле свертки в z-области соответствует уравнение:

$$Y(z) = H(z) \cdot X(z)\,. \tag{6}$$

Передаточная функция может быть представлена как отношение

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)}, \tag{7}$$

которое позволяет ее определить подобно передаточной функции линейных аналоговых систем в форме дробно-рациональной передаточной функции (*tf*-представление);

$$H(s) = \frac{b(s)}{a(s)} = \frac{b_m \cdot s^m + b_{m-1} \cdot s^{m-1} + \ldots + b_1 \cdot s + b_o}{a_n \cdot s^n + a_{n-1} \cdot s^{n-1} + \ldots + a_1 \cdot s + a_o}, \tag{8}$$

где s – оператор Лапласа; $s = j\omega$.

Дискретная система может быть представлена в z-области дискретной передаточной функцией вида:

$$H(z) = \frac{b(z)}{a(z)} = \frac{b_m \cdot z^{-m} + b_{m-1} \cdot z^{-(m-1)} + \ldots + b_1 \cdot z^{-1} + b_o}{a_n \cdot z^{-n} + a_{n-1} \cdot z^{-(n-1)} + \ldots + a_1 \cdot z^{-1} + a_o}. \tag{9}$$

В обоих случаях для задания системы достаточно задать два вектора – вектор b коэффициентов числителя (*num*) и a – знаменателя передаточной функции (*den*).

Как любая дробно-рациональная функция, передаточная функция (9) характеризуется своими особыми точками – *полюсами* и *нулями*. Нулями называют значения z, при которых $H(z)$ оказывается равной нулю. Особыми точками (полюсами) называют значения z, при которых знаменатель $H(z)$ оказывается равным нулю.

Картой нулей и полюсов называют изображение координат нулей (кружочками °) и полюсов (звездочками *) на комплексной z-плоскости.

Нуль-полюсное представление передаточной характеристики (*zp-представление*) получается путем задания векторов z – ее нулей, p – ее полюсов и K – коэффициента усиления.

$$H(z) = \frac{b(z)}{a(z)} = K \cdot \frac{(z - z_1) \cdot (z - z_2) \ldots (z - z_i)(z - z_{m-1})}{(z - p_1) \cdot (z - p_2) \ldots (z - p_k)(z - p_{n-1})}. \tag{10}$$

Передаточная характеристика задается в виде произведения дробей. Для представления передаточной функции в виде суммы дробей необходимо определить полюсы и вычеты.

$$H(z)=\frac{b(z)}{a(z)}=K+\frac{r_1}{(1-p_1\cdot z^{-1})}+\frac{r_2}{(1-p_2\cdot z^{-1})}+\ldots+\frac{r_k}{(1-p_k\cdot z^{-1})}+\frac{r_{n-1}}{(1-p_{n-1}\cdot z^{-1})}. \quad (11)$$

Основной характеристикой линейной системы в частотной области является Фурье-изображение импульсной характеристики $h(nT)$, которое определяется по формуле прямого преобразования Фурье.

$$H\left(e^{j\omega T}\right)=\sum_{n=0}^{\infty} h(nT)\cdot e^{-j\omega nT}\ . \quad (12)$$

В частотной области основной характеристикой линейной системы является *частотная характеристика*:

$$H(j\omega)=\frac{b_m(j\omega)^m+b_{m-1}(j\omega)^{m-1}+\ldots+b_1(j\omega)\ +b_o}{a_n(j\omega)^n+a_{n-1}(j\omega)^{n-1}+\ldots+a_1(j\omega)\ +a_o}, \quad (13)$$

а также ее модуль (АЧХ) и аргумент (ФЧХ).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ В MATLAB

В пакете MATLAB Signal Processing Toolbox свертка задается при помощи функции conv, формат которой имеет вид: conv(x,h) или conv(h,x), где x – вектор воздействия длиной k=length(x); h – вектор отсчетов импульсной характеристики длиной i=length(h). Результатом вычислений есть реакция системы длиной k+i-1. Ниже приведены примеры сверток:

```
h = [1 2 3];        % impulse response of a filter h
stem(h)
x=1;                % input is an impulse
y=conv(x,h);
figure; stem(y)     % output is the impulse response
x=[1 1 1];
y=conv(x,h);
figure; stem(y)
x=[1 2 3]; y=conv(x,h);
figure; stem(y)
```

Пусть нерекурсивная система задана разностным уравнением

$$y(n) = 0.1 \cdot x(n) + 0.5 \cdot x(n-1) + 0.7 \cdot x(n-2),$$

где $n = 0,1, \dots 32; \omega T = 0.5; x(n) = \sin(\omega n T)$.

Реакцию системы можно вычислить:

```
b=[0.1 0.5 0.7]; h=b;
n=0:32; x=sin(0.5.*n);
y=conv(h,x); k=length(y);
stem(n,x)
hold on
plot (n,x), grid
nc=0:(k-1); stem(nc,y)
plot (nc,y,'--')
gtext('input'), gtext('output')
hold off
```

Функция deconv выполняет операцию, обратную свертке. Если известна реакция (вектор y) и воздействие (вектор x), но не известны векторы коэффициентов b и a, импульсную характеристику можно найти как: h=deconv(y,x), где y ,x, h – векторы отсчетов реакции, воздействия и импульсной характеристики соответственно. Необходимо помнить, что вычисление возможно, если первые элементы x и y не равны нулю.

Выполнив обратную процедуру, убедимся, что для рассмотренного примера коэффициенты b и h совпадают.

MATLAB Signal Processing Toolbox предоставляет пользователю ряд процедур, позволяющих преобразовать систему из одной формы в другую.

Представим разностное уравнение

$$y(n) + 0.2 \cdot y(n-2) = x(n) + 2 \cdot x(n-1)$$

двумя векторами b и a: b = [1 2 0]; a = [1 0 0.2].

Передаточная функция дробно-рационального вида запишется как:

$$\mathrm{H(z)} = \frac{\mathrm{Y\,(z)}}{\mathrm{X(z)}} = \frac{1 + 2z^{-1}}{1 - 0.2z^{-2}} = \frac{z^2 + 2z}{z^2 + 0.2}.$$

Преобразование коэффициентов передаточной функции в полюсы p и нули z и коэффициент усиления k производится при помощи функции [z p k] = tf2zpk(b,a).

Для изображения карты нулей и полюсов можно использовать функцию zplane(z,p). Если, например, наоборот известны полюсы, а также нули, то преобразование в коэффициенты передаточной функции производится при помощи функции zp2tf (z,p,k): [b,a]= zp2tf (z,p,k).

Принято полюсы и нули задавать вектор-столбцами, а коэффициенты передаточной функции вектор-строками. Получить карту нулей и полюсов можно также при помощи функции zplane(b,a), указав коэффициенты числителя b и знаменателя a в порядке убывания степеней, начиная с коэффициента при нулевой степени. Первый элемент вектора a всегда равен единице. Убедимся в результате, выполнив указанную выше последовательность команд для рассмотренного примера. В нуль-полюсной форме передаточная функция в виде произведения сомножителей будет выглядеть как:

$$\mathrm{H(z)} = 1 \cdot \frac{z(z-2)}{\left(z-\sqrt{0.2j}\right)\left(z+\sqrt{0.2}j\right)}.$$

При обращении вида: [b, a] = residuez(r, p, k) вычисляются коэффициенты числителя и знаменателя передаточной функции по заданным векторам ее разложения – вычетов r, полюсов p и коэффициентам целой части k. С помощью тех же процедур осуществляется разложение заданной передаточной функции на простые дроби. При этом обращение к ним должно быть таковым: [r, p, k] = residuez(b, a). Записав коэффициенты числителя b и знаменателя a получим передаточную функцию в виде суммы простых дробей. Выполнив обратную процедуру, можно убедиться в правильности вычисленных коэффициентов b, a.

Процедура tf позволяет создавать как непрерывные модели, так и дискретные. В последнем случае к числу входных параметров процедуры следует добавить в конце значение параметра Ts – шага дискретизации, а вводимые значения коэффициентов уже должны задавать параметры дискретных передаточных функций. Для *аналоговой системы* передаточная функция (см. формулу (8)) задается в форме tf-полиномов числителя и знаменателя: sys = tf(b,a).

Получим передаточную функцию для рассмотренного примера

b = [1 2 0]; a = [1 0 0.2]; sysa = tf(b, a).

Для *дискретной системы* необходимо задать значение
Ts: sysd = tf(b,a,Ts). Тогда имеем Ts = 0.01; sysd = tf(b,a,0.01)

Систему, заданную как непрерывная, можно перевести в дискретную форму, воспользовавшись процедурой c2d:

sysd = c2d(sysa, Ts, method),

где sysa – исходная непрерывная заданная модель; sysd – получаемый дискретный аналог исходной системы; Ts – задаваемое значение шага дискретизации; method – параметр, определяющий метод дискретизации. Последний параметр может быть указан как:

'zoh' – соответствует применению экстраполятора нулевого порядка: внутри интервала дискретизации сигналы аппроксимируются постоянной величиной, равной значению сигнала в начале интервала дискретизации;

'foh'– соответствует применению экстраполятора первого порядка: внутри интервала дискретизации сигналы аппроксимируются отрезками прямых, проходящих через концы кривой сигнала в интервале дискретизации;

'tustin' – билинейная аппроксимация Тастина внутри интервала дискретизации;

'prevarp' – та же аппроксимация Тастина с заданной частотой предыскривления;

'matched' – метод согласования нуля и полюса.

Процедура d2c осуществляет обратную операцию – переводит *дискретную систему в непрерывную*, например, sysa = d2c(sysd).

Процедура d2d позволяет *переопределить дискретную систему*, либо меняя шаг дискретизации sys1 = d2d(sys,Ts), либо вводя групповые задержки Nd (целое, в количестве шагов дискретизации)
sys2 = d2d(sys,[],Nd).

Временные и частотные характеристики *аналоговой системы* можно получить, задав следующие функции:

impulse – нахождение отклика системы на единичное импульсное входное воздействие;

step – нахождение реакции системы на единичный скачок входного воздействия;

lsim – определение реакции системы на входное воздействие произвольной формы, задаваемое в виде вектора его значений во времени.

bode – строит графики АЧХ и ФЧХ (диаграмму Боде) указанной системы;

nyquist – строит в комплексной плоскости годограф (график Амплитудно-Фазовой Характеристики (АФХ) в полярных координатах;

grpdelay – для расчета группового времени задержки.

phasedelay – для расчета фазовой задержки.

Для применения процедуры lsim необходимо предварительно задать вектор t значений времени, в которых будут заданы значения входного воздействия, а затем и задать соответствующий вектор u значений входной величины в указанные моменты времени. Например, для заданных значений b и a выполним программу:

```
b=[1 0 7.971e6];
a=[1 7.427e2 1.501e6 5.536e8];
ssys=tf(b,a);
tf(ssys)
step(ssys), figure
impulse(ssys), figure
nyquist(ssys), figure
bode(ssys), figure
grpdelay(ssys), figure
phasedelay(ssys), figure
t = 0:0.01:40; u = sin(t);
lsim(ssys,u,t);grid
```

Для построения графиков АЧХ и ФЧХ для аналоговой системы нужно ввести векторы коэффициентов b и a, а затем вызвать функцию расчёта комплексной частотной характеристики и построения графиков freqs (b,a).

Например, для заданных коэффициентов будут построены графики АЧХ и ФЧХ (АЧХ в логарифмическом масштабе, но без пересчёта в децибелы, ФЧХ в градусах). По умолчанию выбираются 200 частот, логарифмически равномерно распределённых в диапазоне от 0,1 до 10.

Если нужно построить АЧХ в линейном масштабе abs(k), в ином диапазоне частот, ФЧХ в радианах angle(k) и с устранением скачков на $2\pi k$ радиан unwrap, то следует ввести следующие операторы:

```
f=0: 50:1000;                    % шкала частот
k=freqs (b,a,f*2*pi);
subplot (2,1,1)
plot (f, abs(k)/max(abs(k))), grid
subplot (2,1,2)
plot (f,unwrap(angle(k))), grid
```

Для нахождения временных и частотных характеристик *дискретных систем* используются функции*:*

impz – для расчета или графического отображения импульсной характеристики дискретной системы;

stepz – для расчета или графического отображения переходной характеристики дискретной системы;

freqz – для расчета комплексного коэффициента передачи или построения графиков АЧХ и ФЧХ дискретной системы;

dbode – дискретный аналог диаграмм Боде;

grpdelay – для расчета группового времени задержки;

phasedelay – для расчета фазовой задержки.

Вычисляют импульсную характеристику, задав количество точек n. Исходными данными, как и для предыдущих функций, являются коэффициенты полиномов числителя и знаменателя функции передачи систем h =impz(b,a,n).

Например,

```
h =impz(b,a,50);
n=1:50;
stem(n,h),grid
```

Можно задать импульсную характеристику иначе:

[h nT]=impz(b,a,n,fs), где n – количество точек, в которых рассчитывается импульсная характеристика; fs – частота дискретизации, Гц; h – вектор-столбец отсчетов импульсной характеристики; nT – вектор-столбец значений дискретного времени.

Аналогично задают переходную характеристику

[g, nt]=stepz(b,a,n,Fs).

Для вычисления частотной характеристики $H(e^{j\omega t})$ по коэффициентам b и a используется функция freqz, формат может быть представлен в нескольких видах:

freqz (b,a)	[h w]=freqz(b,a,n)
h=freqz(b,a,w)	[h w]=freqz(b,a,n ,fs)
[h w]=freqz(b,a,w)	[h w]=freqz(b,a,f ,fs),

где n – количество расчетных точек; w – вектор частот, радиан в секунду; f – вектор частот, Гц.

Например, задав w=0:pi/10:pi получится АЧХ в рад/с. Затем продолжить вычисления, для того чтобы получить значения АЧХ в Гц. Расчет АЧХ и ФЧХ дискретной системы можно выполнить с помощью функций abs и angle, как в примере для аналоговой системы.

Фазовая задержка – это величина задержки для каждой из частотных компонент сигнала. Определяется как угол сдвига фазы, деленный на частоту. Групповая задержка – это средняя временная задержка всего многочастотного сигнала. Определяется как производная фазы по частоте. Смысл групповой задержки можно пояснить следующим образом. Отклик физически реализуемой системы всегда возникает не раньше воздействия, при этом система задерживает входной сигнал на некоторое время. При этом если подавать на вход сигналы разной частоты, то сигналы на выходе могут быть задержаны на разное время. Эта задержка выражается в сдвиге фазы сигнала на выходе относительно сигнала на входе. Групповая задержка при этом характеризует изменение временного сдвига сигнала, который получается в результате фазового сдвига.

Групповое и фазовое время задержки можно задать как:

[Gd nT]=grpdelay(b,a,n,fs); [Phd nT]=phasedelay(b,a,n,fs).

ПОЛУЧЕНИЕ SIMULINK-МОДЕЛИ

Анализ характеристик Simulink-модели линейной системы производится с помощью программы GUI FVTool (Filter Visualization Tool – средства визуализации фильтра), входящей в состав MATLAB, обращение к которой производится с помощью функции: fvtool(b,a). Автоматически откроется окно Filter Visualization Tool, в котором можно вывести интересующие характеристики ЛДС, используя следующие команды пункта меню Analysis (Анализ):

Magnitude Response (АЧХ);

Phase Response (ФЧХ);

Magnitude and Phase Responses (АЧХ и ФЧХ);

Group Delay Response (ГВЗ – групповое время задержки);

Phase Delay (фазовая задержка);

Impulse Response (импульсная характеристика);

Step Response (переходная характеристика);

Pole/Zero Plot (карта нулей и полюсов);

Filter Coefficients (коэффициенты фильтра – коэффициенты передаточной функции);

Filter Information (информация о фильтре);

Magnitude Response Estimate (оценка АЧХ – для ЦФ с ФТ);

Round-off Noise Power Spectrum (энергетический спектр шума округления – для ЦФ с ФТ).

В пункт меню Analysis включены дополнительные команды:

Filter Specifications (требования к АЧХ) – в поле графика выводятся требования к АЧХ;

Overlay Analysis (наложение характеристик) – выводится список флагов, имена которых дублируют перечисленные команды анализа. Установив флаг, можно добавить в поле графика еще одну характеристику. По умолчанию установлен флаг None (добавляемой характеристики нет).

Analysis Parameters (параметры анализа) – открывается одноименное окно, в котором можно изменить параметры анализируемой характеристики (список параметров зависит от характеристики), а затем нажать кнопку Apply или OK. При нажатии кнопки Apply соответствующие параметры (единицы измерения по оси абсцисс, ординат и пр.) будут автоматически изменены на выведенном графике, а при нажатии кнопки OK – они будут изменены и сохранены при последующих выводах графиков.

Sampling Frequency (частота дискретизации) – открывается одноименное окно, в котором можно изменить единицы измерения частоты дискретизации, затем нажать кнопку OK.

Блок Discrete Filter моделирует структуру рекурсивной или нерекурсивной системы с передаточной функцией (8). Параметры блока задаются на трех вкладках – Main, Data Types и State Attributes (атрибуты состояния).

На вкладке Main определяются параметры: Numerator coefficients (коэффициенты числителя); Denominator coefficients (коэффициенты знаменателя) – вектор коэффициентов знаменателя a_k передаточной функции (8) в порядке возрастания номеров, где $a_0 = 1$. Для нерекурсивной системы задается Denominator coefficients.

Optimize by skipping divide by leading denomination coefficients (оптимизировать посредством деления на начальный коэффициент знаменателя) – флаг, устанавливаемый при $a_0 = 1$; при $a_0 = -1$ флаг сбрасывается, и коэффициенты знаменателя и реакция делятся на a_0

На вкладке Data Types значения параметров выбираются из раскрывающихся списков и связаны с выбором типа данных для внутреннего состояния (States), коэффициентов числителя (Numerator), знаменателя (Denomirator), результатов арифметических операций сложения и умножения, а также выходного сигнала (Output).

Также задаются параметры: Integer rounding mode и Saturate on integer overflow; Lock output data type setting against changes by the fixed-point tools. На вкладке State Attributes параметры имеют отношение к генерации кода при работе в реальном времени и не влияют на процесс моделирования.

На рис. 2 представлена *S*-модель, включающая рекурсивное звено 2-

го порядка (блок Discrete Filter) с заданной передаточной функцией, где для блока Sine Wave установлены параметры: Sine type: Sample based; Amplitude: 1; Samples per period: 10; Sample time: 1.

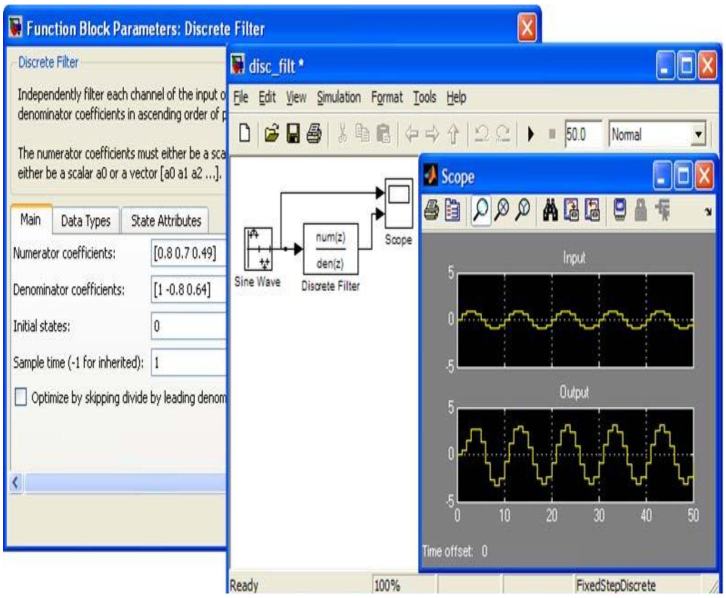

Рисунок 2

УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Задачей лабораторной работы является разработка моделей систем и получение их характеристик в пакете MATLAB. Последовательность выполнения следующая.

Задание 1. Рассчитать параметры аналогового фильтра согласно выданному заданию. Записать передаточную функцию. Определить коэффициенты числителя b_k и знаменателя a_k. Результаты перенести в отчет. Привести электрическую схему аналогового фильтра.

Задание 2. Разработать программу (скрипт) для пакета MATLAB для получения временных и частотных характеристик аналогового фильтра. Результаты перенести в отчет.

Задание 3. Осуществить перевод системы в дискретную форму. Записать новые коэффициенты числителя b_{k1} и знаменателя a_{k1}. Разработать скрипт для пакета MATLAB для получения временных и частотных характеристик дискретного фильтра. Результаты перенести в отчет. Получить характеристики в Filter Visualization Tool. Проверить соответствие полученных характеристик с характеристиками аналогового фильтра.

Задание 4. На основании передаточной функции записать разностное уравнение. Получить при помощи пакета MATLAB выражение для передаточной функции дискретной системы в виде произведения и суммы дробей. Результаты перенести в отчет.

Задание 5. Создать *S*-модель, включающую рекурсивное звено 2-го порядка (блок Discrete Filter) с заданной передаточной функцией.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: цель работы; задание, полученное от преподавателя; тексты программ (скрипты), графики и числовые характеристики, а также теоретические формулы, по которым производятся расчеты; выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Z-преобразование: определение, свойства. Обращение Z-преобразования (восстановление последовательности по Z-образу). Применение Z-преобразования для решения разностных уравнений

2. Линейные дискретные системы. Определение. Свойства.

3. Импульсная характеристика. Определение отклика фильтра на произвольное воздействие при помощи свертки.

4. Передаточная функция линейной дискретной системы (ЛДС), связь с импульсной характеристикой. Определение отклика фильтра с использованием передаточной функции.

5. Структурные схемы ЛДС, связь параметров ЛДС с передаточной функцией. Устойчивость ЛДС. Критерии устойчивости.

6. Частотная характеристика ЛДС: определение, физический смысл.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – 3-е издание – С.Пб. : Питер, 2011. – 758 с.

2. Солонина А. И. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций. – 2-е изд. / А. И. Солонина, Д. А. Улахович, С. М. Арбузов, Е. Б. Соловьева. – С.Пб. : БХВ-Петербург, 2005.

3. Оппенгейм А. Цифровая обработка сигналов. 2-е изд., испр. / А. Оппенгейм, Р. Шафер: пер. с англ. Под ред. А. Б. Сергиенко. – М. : Техносфера, 2007.

4. Солонина А. И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB / А. И. Солонина, С. М. Арбузов. – С.Пб. : БХВ-Петербург, 2008. – 816 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторної роботи
«Вивчення методів аналізу лінійної дискретної системи»
з дисципліни «Цифрова обробка сигналів»
для студентів усіх форм навчання
спеціальностей «Промислова електроніка» і
«Біомедична електроніка»

Російською мовою

Укладачі: ФЕТЮХІНА Людмила Вікторівна
БУТОВА Ольга Анатоліївна

Відповідальний за випуск проф. Сокол Є. І.

Роботу до видання рекомендував доц. Воінов В. В.

Редактор Верстюк Н.В.

План 2017, поз. 141
Підписано до друку 11.12.2017 р.
Формат 60x84 1/16. Папір офсет. Друк – ризографія.
Гарнітура – Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,14
Наклад 50 прим. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5475 від 21.08.2017 р.
61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2

Друкарня НТУ «ХПІ», м. Харків, вул. Кирпичова, 2
